短期试验条件下不同硒源对泌乳奶牛血浆和乳中硒含量及血清抗氧化能力的影响

孙玲玲[1]　王　坤[1]　高胜涛[1]　刘士杰[2]　卜登攀[1,3,4*]

（1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193；2. 中国饲料工业协会，北京 100125；3. 中国农业科学院与世界农用林业中心农用林业与可持续畜牧业联合实验室，北京 100193；4. 湖南畜产品质量安全协同创新中心，长沙 410128）

摘　要：本试验旨在短期试验条件下，比较蛋氨酸硒羟基类似物（HMSeBA）和亚硒酸钠（sodium selenite,SS）对泌乳奶牛血浆和乳中硒含量及血清抗氧化能力的影响。采用完全随机试验设计，选取 8 头胎次、泌乳天数及产奶量相近的中国荷斯坦奶牛，随机分为 2 组，分别在基础饲粮中添加 0.3 mg/kg DM 的 HMSeBA 及 SS，每组 4 头。预试期 2 周，正试期 4 周。结果表明：1）HMSeBA 组奶牛的乳脂率（P=0.060 3）及乳脂产量（P=0.055 2）与 SS 组相比有降低的趋势，干物质采食量、产奶量及其他乳成分产量和比率未受硒源的显著影响（P>0.05）；2）HMSeBA 组奶牛血浆和乳中硒含量均显著高于 SS 组（P<0.05）；3）血清谷胱甘肽过氧化物酶活性未受硒源的显著影响（P>0.05），但 HMSeBA 组血清总抗氧化能力、超氧化物歧化酶活性显著高于 SS 组（P<0.05），血清丙二醛含量显著低于 SS 组（P<0.05）。综上所述，在短期试验条件下，饲粮中添加 0.3 mg/kg DM 的 HMSeBA 相比于同等剂量的 SS 可显著提高奶牛血浆和乳中的硒含量及抗氧化能力。

关键词：蛋氨酸硒羟基类似物；亚硒酸钠；奶牛；乳中硒含量；血清抗氧化能力

中图分类号：S823

硒是维持动物及人类健康的重要微量元素，在机体内发挥许多重要的生物学功能，如增强机体的抗氧化能力、促进维生素A和维生素K的吸收、增强机体免疫力及调节基础代谢等[1]。硒缺乏将影响机体正常生理代谢，危害畜禽的生长和繁殖，且有很多研究表明，人类20余种疾病都与机体内硒营养状况相关[2]。为满足机体的正常生理代谢，成年人每天应保证一定的硒摄入量。饮食是人类获取硒的直接途径，在动物饲粮中增补硒在满足营养需要的同时，其生产的富硒动物性产品对人类膳食硒的补充具有重要意义，而富硒牛奶是人类补硒的一种重

收稿日期：2017-08-07
基金项目：中国农业科学院科技创新工程协同创新任务（ASTIP-IAS07，CAAS-XTCX2016011-01）；北京市奶牛产业创新团队（BAIC06-2017）；农产品质量安全监管（饲料）项目
作者简介：孙玲玲（1993—），女，黑龙江哈尔滨人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养与饲料。E-mail：sunlingling114289@163.com
*通信作者：卜登攀，研究员，博士生导师，E-mail：burdenpan@126.com

要动物性产品。

研究表明，奶牛饲粮中添加硒可增加牛奶中硒含量[3-6]。硒有2种常用形式，一种是价格低廉，但毒性较强且生物学利用率较低的无机硒，如硒酸盐和亚硒酸盐；另一种是价格昂贵但低毒高效的有机硒，如酵母硒等[7]。硒的吸收主要发生在小肠，有机硒中的硒代蛋氨酸在小肠中通过蛋氨酸转运系统被吸收，吸收率约为80%，而无机硒主要以被动扩散的形式在小肠中吸收，吸收率约为50%[8]。荟萃分析的结果表明，奶牛饲粮中添加酵母硒与添加无机形式的硒相比可显著提高乳中硒含量[9]。蛋氨酸硒羟基类似物（2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid,HMSeBA）是一种新型有机硒资源，不同于蛋氨酸硒之处在于其2号碳原子上的氨基被羟基取代。欧盟于2013年允许HMSeBA作为饲料添加剂应用于动物生产中，在猪[10]、鸡[11]等单胃动物上的研究已经证明了HMSeBA作为一种新型有机硒添加剂的有效性。本课题组前期的研究表明，在长期试验条件下，相比于无机硒，HMSeBA有助于提高奶牛的抗氧化能力及营养物质表观消化率[12]。然而，一方面，有机硒高昂的价格极大地限制了其在生产实践中的长期应用；另一方面，HMSeBA作为一种新型有机硒添加剂，其在提高牛奶中硒含量的潜力未有报道。因此，本试验通过在短期试验条件下比较HMSeBA和亚硒酸钠（sodium selenite,SS）对泌乳奶牛血浆和乳中硒含量及抗氧化能力的影响，为其在生产富硒奶方面的应用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

HMSeBA，含硒量为2%，由安迪苏生命科学制品(上海)有限公司提供；SS为分析纯化学试剂，纯度≥99.5%。

1.2 试验设计与动物饲养管理

试验采用完全随机设计，选取8头胎次（2.01±1.23）、泌乳天数[（158±27） d]、产奶量[（25.3±2.8） kg/d]相近的健康中国荷斯坦奶牛，随机分为2组，分别在基础饲粮中添加0.3 mg/kg DM的HMSeBA和SS，每组4头。预试期2周，正试期4周。

试验在动物营养学国家重点实验室昌平基地环控舱中进行。奶牛每天饲喂2次（07:00和19:00），HMSeBA和SS分别与粉碎的玉米混合，在晨饲时撒在饲粮表面，保证奶牛进食完全。自由采食、饮水，每天挤奶2次（07:00和19:00）。基础饲粮每天配制，所用预混料为无硒预

混料（三元种业科技股份有限公司），测得基础饲粮中的含硒量为0.05 mg/kg DM。基础饲粮组成及营养水平见表1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content
玉米青贮 Corn silage	29.9
苜蓿 Alfalfa hay	14.4
燕麦草 Oat hay	5.1
豆粕 Soybean meal	12.5
膨化大豆 Extruded soybean	3.4
压片玉米 Flaked corn	17.6
玉米 Corn	10.6
奶粉 Milk power	0.7
过瘤胃脂肪粉 Rumen-protected lipid powder[1)]	1.8
酵母培养物 Yeast culture[2)]	0.2
霉菌毒素脱毒剂 Mycotoxin detoxification regent[3)]	0.1
食盐 NaCl	0.4
石粉 Limestone	0.8
小苏打 $NaHCO_3$	1.7
氧化镁 MgO	0.2
预混料 Premix[4)]	0.6
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[5)]	
粗蛋白质 CP	15.95
粗脂肪 EE	5.66
粗灰分 Ash	8.58
中性洗涤纤维 NDF	29.05
酸性洗涤纤维 ADF	20.11
泌乳净能 NE_L/（MJ/kg）	7.32
钙 Ca	0.83
磷 P	0.44
硒 Se/（mg/kg DM）	0.05

[1)]购自德国百事美公司。Brought from Berg+Schmidt Co., Germany.

[2)]购自美国达能威公司。Brought from Diamond V Co., USA.

[3)]购自百奥明饲料添加剂(上海)有限公司。Brought from Biomin feed additive (*Shanghai*) Co., Ltd.

[4)]每千克预混料含 One kilogram of premix contained the following：Cu 1 230mg,Zn 4 950mg, Mn 1 760mg, I 50mg,Co 37 mg, VA 504 800 IU, VD_3 88 800 IU, VE 2 100 IU, VB_3 700 mg。

[5)]泌乳净能为计算值，由CPM-Dairy 3.8.0.1V计算得出，其他营养水平为实测值。NE_L was a calculated

value, and was calculated by CPM-Dairy 3.8.0.1V, while the other nutrient levels were measured values.

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 采食量

正试期第4周连续7 d记录所有牛的加料量，晨饲前收集每头牛的剩料并称重，从而计算每头牛每天的采食量，并在此期间每天收集有代表性的饲料样和剩料样，测定干物质含量用以计算每头牛每天的干物质采食量（dry matter intake，DMI）。

1.3.2 产奶量及乳成分

正试期的第4周连续7 d每天记录每头牛的产奶量，按以下公式计算4%乳脂校正乳产量和饲料转化率：

4%乳脂校正乳产量(kg/d)=0.4×产奶量(kg/d)+15×乳脂产量(kg/d)；

饲料转化率=4%乳脂校正乳产量(kg/d)/DMI(kg/d)。

并于每天早、晚收集奶样，按1:1混匀。50 mL奶样加入含有重铬酸钾防腐剂的上机管中，4 ℃保存过夜，第2天送往农业部奶及奶制品质量检测监督中心（北京），采用乳成分分析仪（MilkoScan™ FT 6000，丹麦FOSS）测定乳成分，采用细胞分析仪（Fossmatic 5000，丹麦FOSS）测定乳中体细胞数（somatic cell count,SCC），根据以下公式计算乳中体细胞评分

乳中体细胞评分=$\log_2$[SCC(个/mL)/100 000]+3。

另取50 mL分装到10 mL离心管中，-20 ℃保存，参照Heard等[13]描述的方法测定乳中硒含量，1.0 g的奶样经10 mL硝酸和高氯酸混合液消化后加入2 mL盐酸，然后采用电感耦合等离子体质谱法（(ICP-MS/MS)(Agilent 8800,美国Agilent公司）测定乳中硒含量。

1.3.3 血清抗氧化指标和血浆硒含量

正试期第4周的最后2天于晨饲后3 h尾静脉采集血液于10 mL真空采血管中，分为2份。一份用于分离血浆，血液立即3 000×*g*、4 ℃离心15 min，得到血浆，-20℃冰箱冷冻保存，用于血浆硒含量的测定。血浆硒含量的测定同乳中硒含量的测定方法，但血浆的使用量为0.5 g。根据以下公式计算硒迁移率：

硒迁移率（%）=[产奶量(kg/d)×乳中硒含量(μg/kg)]/[DMI(kg/d)×饲粮中硒含量(mg/kg)]×1 000。

另一份用于分离血清，血液在室温静止30 min后于4 ℃冷藏过夜，3 000×g、4 ℃离心

15 min，得到血清，-20 ℃冰箱冷冻保存，用于抗氧化能力的测定。使用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定血清中总抗氧化能力(total antioxidative capacity,T-AOC)，超氧化物歧化酶（SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性及丙二醛(malondialdehyde,MDA)含量。

1.4　数据统计分析

试验数据采用 SAS 9.4 软件中的 MIXED 模块进行统计学检验。统计模型中，试验牛为随机因素，试验处理为固定因素。*P*<0.05 表示差异显著，0.05≤*P*<0.10 表示有差异显著趋势。

2　结果与分析

2.1 DMI、产奶量及乳成分

由表 2 可知，饲粮中添加不同硒源对泌乳奶牛 DMI、产奶量、4%乳脂校正乳产量、饲料转化率、乳蛋白率、乳蛋白产量、乳糖率、乳糖产量、乳中固形物含量、乳中非脂固形物含量以及乳中体细胞评分没有显著影响（*P*＞0.05）；与 SS 组相比，HMSeBA 组的乳脂率（*P*=0.060 3）及乳脂产量（*P*=0.055 2）有下降的趋势。

表 2　饲粮中添加不同硒源对泌乳奶牛 DMI、产奶量及乳成分的影响

Table 2　Effects of dietary supplementation of different Se sources on DMI, milk yield and milk composition of dairy cows

项目 Items	组别 Groups SS	组别 Groups HMSeBA	标准误 SEM	*P*值 *P*-value
干物质采食量 DMI/(kg/d)	18.2	18.0	0.39	0.924 0
产奶量 Milk yield/(kg/d)	25.5	24.8	0.24	0.628 3
4%乳脂校正乳产量 4% FCM yield/(kg/d)	27.8	28.2	0.44	0.809 7
饲料转化率 Feed conversion efficiency	2.1	1.9	0.05	0.205 5
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	3.42	3.23	0.036	0.256 5
乳蛋白产量 Protein yield/(g/d)	876.22	892.89	4.734	0.153 5
乳脂率 Milk fat percentage/%	3.74	3.36	0.063	0.060 3
乳脂产量 Milk fat yield/(g/d)	940.76	890.57	30.455	0.055 2
乳糖率 Lactose percentage/%	4.83	4.94	0.028	0.569 1
乳糖产量 Lactose yield/(g/d)	1 132.69	1 230.66	20.554	0.379 8
乳中固形物含量 Milk solid content/%	12.44	12.20	0.103	0.488 0
乳中非脂固形物含量 Milk non-fat solid content/%	9.37	9.32	0.050	0.890 2
乳中体细胞评分 Milk somatocyte score	3.47	3.27	0.064	0.315 6

2.2　血浆和乳中硒含量

由表 3 可知，与 SS 组相比，HMSeBA 组奶牛血浆中硒含量及乳中硒含量显著升高（P<0.05），分别较 SS 组提高了 39.63%和 77.96%；HMSeBA 组硒迁移率为 15.7%，高于 SS 组的 9.0%。

表 3 饲粮中添加不同硒源对泌乳奶牛血浆和乳中硒含量的影响

Table 3 Effects of dietary supplementation of different Se sources on Se content in plasma and milk of dairy cows

项目	组别 Groups		标准误	P值
Items	SS	HMSeBA	SEM	P-value
硒含量 Se content/(μg/kg)				
血浆 Plasma	60.43	84.38	1.768	0.022 0
乳 Milk	22.41	39.88	4.141	0.013 2
硒迁移率 Transform efficiency of Se/%	9.0	15.7		

2.2 血清抗氧化性能

由表 4 可知，饲粮中添加不同硒源对奶牛血清中 GSH-Px 的活性没有显著影响（P>0.05）；与 SS 组相比，HMSeBA 组奶牛血清中 T-AOC 及 SOD 活性显著升高（P<0.05），而 MDA 含量显著降低（P<0.05）。

表 4 饲粮中添加不同硒源对泌乳奶牛抗氧化能力的影响

Table 4 Effects of dietary supplementation different Se sources on antioxidant indexes of dairy cows

项目	组别 Groups		标准误	P值
Items	SS	HMSeBA	SEM	P-value
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	99.46	109.23	5.861	0.242 4
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	1.91	2.74	1.349	0.034 3
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	103.02	127.04	0.040	0.043 2
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	4.21	3.17	0.108	0.032 0

3 讨 论

从实际生产的角度出发，不添加硒会使奶牛处于亚健康状态，实际生产中添加的硒一般为无机形式的硒，但与无机硒相比，有机硒有更大的吸收率[14]、更高的生物学活力[15]、更多的组织存留率[11]及更低的毒性。因本试验旨在比较一种新型的有机硒资源 HMSeBA 与 SS 在短期试验条件下对乳中硒存留率的影响，故只设了有机硒和无机硒 2 组。美国食品及药物管理局（Food and Drug Administration，FDA）推荐硒（包括有机硒和无机硒）的添加量为 0.3 mg/kg DM，饲粮中此剂量的硒即可满足奶牛的营养需要，故本试验设定硒的添加水平为 0.3 mg/kg DM。

3.1 饲粮中添加不同硒源对泌乳奶牛DMI、产奶量及乳成分的影响

硒是维持动物正常生长不可或缺的微量元素。当饲粮中的硒浓度表现为极度缺乏或中毒剂量时，会对动物的生产性能产生一定的影响[16]。当动物体内硒的储存量不足时，在饲粮中添加适宜剂量的硒可促进动物生长，且有研究表明有机硒的应用效果要优于无机硒[17-19]。本试验选用FDA推荐的硒添加量在饲粮中分别添加HMSeBA和SS这2种硒源，且在此添加剂量下，HMSeBA和SS组的奶牛平均每天分别摄入硒5.7和5.6 mg，血浆中的硒含量分别为84.4和60.4 μg/kg，均在Villar等[20]推荐血浆适宜硒含量范围（51~85 μg/kg）内，奶牛的生产性能上未表现出显著的差异。这与Calamari等[21]和王建等[12]进行的长期试验结果相一致，即不同硒源并未影响奶牛的生产性能。然而，不同于以上研究之处在于本试验中HMSeBA组的奶牛乳脂率及乳脂产量与SS组的奶牛相比有降低的趋势，Fraser等[22]曾报道在增补硒后的第1个季节里乳脂产量与血液中硒含量存在负相关关系，Pehrson等[23]报道这种负相关关系是由于硒参与了三羧酸循环中的氧化过程以及脂肪酸的代谢过程。

3.2 饲粮中添加不同硒源对泌乳奶牛血浆和乳中硒含量的影响

吸收入血液的硒与α球蛋白、β球蛋白、低密度脂蛋白（low density lipoprotein，LDL）、极低密度脂蛋白（very low density lipoprotein，VLDL）以及白蛋白相结合，血浆中的硒主要与白蛋白相结合[24]。Villar等[20]报道，血浆中适宜的硒含量为51~85 μg/kg，为达到这一含量需在饲粮中添加一定剂量的硒。研究表明，同等剂量的有机硒提高奶牛血液中硒含量的效果要优于无机硒[3-5]。Weiss等[25]认为有机硒和无机硒饲喂奶牛，其血液中硒含量可相差约20%。本试验中，血浆硒含量均在正常范围内，且HMSeBA组的奶牛血浆硒含量较SS组高39.6%，高于Weiss等[25]提出的参考值，证明HMSeBA作为一种新型有机硒资源在提高奶牛血浆中硒含量方面效果更明显。

Rowntree等[26]报道，血浆中的硒含量是乳中硒含量的3~5倍，血浆中硒含量的升高将导致乳中硒含量的升高。乳腺可优先吸收并整合有机硒中的硒代蛋氨酸合成乳蛋白[23]，因此很多研究表明，在提高乳中硒含量上，有机硒的应用效果要优于无机硒[6]。Juniper等[3]向奶牛饲粮中添加一定剂量的酵母硒与同等剂量的SS相比，可提高34%的乳中硒含量。朱松波等[27]发现，奶牛每天摄入15 g纳米硒，在第30天时，乳中硒含量达到34 μg/kg。本试验中，HMSeBA组奶牛的乳中硒含量为39.88 μg/kg，比SS组奶牛高78.0%，高于以上研究中使用酵母硒和纳米硒得到的结果。这表明HMSeBA可能是一种更加有效的提高乳中硒含量的有机硒

添加剂。Givens等[28]报道，在英国，乳中硒含量平均值为10 μg/kg，奶牛饲粮中添加酵母硒来取代SS可以通过提高乳中硒含量来缓解人类膳食硒的缺乏。本试验的结果显示，HMSeBA提高乳中硒含量的效果可能优于酵母硒，因此HMSeBA可被用来生产富硒牛奶，且短期条件下的效果就很明显。HMSeBA组奶牛饲粮中的硒转化成乳中硒的效率（即硒迁移率）为15.7%，高于SS组的9.0%，与Calamari等[21]的研究结果相一致，进一步说明奶牛利用HMSeBA生产富硒牛奶的潜力高于SS。

3.3 饲粮中添加不同硒源对泌乳奶牛血清抗氧化能力的影响

硒蛋白 GSH-Px 是反映机体抗氧化能力的重要指标。硒是 GSH-Px 的活性成分，因此在奶牛饲粮中增补一定剂量的硒可以提高血液 GSH-Px 的活性，进而提高机体的抗氧化能力[29]。然而关于硒源对血液 GSH-Px 活性影响的报道存在诸多争议。曹雪瑾[30]、田金可[31]及许宗运等[32]分别在断奶仔猪、肉鸡及奶牛上的研究表明，添加适宜剂量的硒可以提高血液中GSH-Px 的活性，且与同等剂量的无机硒相比，酵母硒的应用效果更好。然而 Juniper 等[3]探究不同来源硒对泌乳奶牛影响的试验发现，在第 5 周时血液中的 GSH-Px 活性未受到硒源的影响，这与 Weiss[6]总结的 9 篇关于硒源对血液 GSH-Px 活性影响的报道结果相一致。Ortman 等[15]在第 6 周时也观察到了类似的结果，但当试验从第 6 周进行到 12 周时发现，添加酵母硒组奶牛血液中 GSH-Px 活性显著高于无机硒组。本试验的结果表明，在第 4 周时 2 组奶牛血清中 GSH-Px 活性没有显著差异，这与王建等[12]进行的 12 周试验结果不一致，可能是 4 周的试验时间未能对血清 GSH-Px 活性产生显著影响。血液 T-AOC 和 SOD 活性也是反映机体抗氧化能力的重要指标，其中 T-AOC 可以反映机体对外来刺激的代偿能力，血液 SOD 活性可以反映机体清除自由基的能力[33]。本试验结果表明，HMSeBA 组奶牛血清 T-AOC 及 SOD 活性均高于 SS 组，分别提高了 43.46%和 23.32%，这与许宗运等[32]和黄志坚等[34]比较酵母硒和 SS 对奶牛抗氧化能力影响的结果相一致，且许宗运等[32]的结果表明，酵母硒组较 SS 组血液 T-AOC 及 SOD 活性分别提高了 37.7%和 15.4%，均低于本试验的结果，表明 HMSeBA 在短期内具有更好的提高奶牛抗氧化能力的作用效果。MDA 是膜脂过氧化的重要产物之一，由自由基作用于脂质发生过氧化反应生成，可引起蛋白质、核酸等生命大分子的交联聚合，还能加剧膜的损伤，且具有细胞毒性[35]。本试验中，HMSeBA 组较 SS 组显著地抑制了 MDA 的生成，与 Gong 等[36]及黄志坚等[34]的研究结果相一致，表明 HMSeBA

降低脂质过氧化的效果要优于 SS。

4　结　论

在短期试验条件下，饲喂新型有机硒添加剂HMSeBA的奶牛将饲粮中的硒转化成乳中硒的效率高于SS，显著提高了乳中硒含量，且其生产富硒牛奶的潜力在短期条件下就很明显，并未对奶牛产奶量和乳成分等造成不利影响，且显著提高了奶牛的血清抗氧化能力。

参考文献：

[1] MEHDI Y,DUFRASNE I.Selenium in cattle:a review[J].Molecules,2016,21(4):545.

[2] 吴永尧,彭振坤,罗泽民.硒的多重生物学功能及对人和动物健康的影响[J].湖南农业大学学报,1997(3):294–300.

[3] JUNIPER D T,PHIPPS R H,JONES A K,et al.Selenium supplementation of lactating dairy cows:effect on selenium concentration in blood,milk,urine,and feces[J].Journal of Dairy Science,2006,89(9):3544–3551.

[4] 刘强,黄应祥,KARL D,等.日粮添加赛乐硒对奶牛产奶量和乳品质的影响[J].中国奶牛,2007(5):13–16.

[5] 吕战伟.奶牛日粮中硒源与硒添加水平对乳成分和乳硒沉积的影响[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2011:33–35.

[6] WEISS W P.Selenium nutrition of dairy cows:comparing responses to organic and inorganic selenium forms[M].[S.l.]:Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries Nottingham University Press,2003.

[7] WANG C,LIU Q,YANG W Z,et al.Effects of selenium yeast on rumen fermentation,lactation performance and feed digestibilities in lactating dairy cows[J].Livestock Science,2009,126(1):239–244.

[8] 弓剑.硒对奶牛乳腺抗氧化功能的影响及其机理研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2014:6–7.

[9] CEBALLOS A,SÁNCHEZ J,STRYHN H,et al.Meta-analysis of the effect of oral selenium supplementation on milk selenium concentration in cattle[J].Journal of Dairy Science,2009,92(1):324–342.

[10] JLALI M,BRIENS M,ROUFFINEAU F,et al.Effect of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid as a dietary selenium supplement to improve the selenium concentration of table eggs[J].Journal of Animal Science,2013,91(4):1745–1752.

[11] BRIENS M,MERCIER Y,ROUFFINEAU F,et al.2-Hydroxy-4-methylselenobutanoic acid induces additional tissue selenium enrichment in broiler chickens compared with other selenium sources[J].Poultry Science,2014,93(1):85–93.

[12] 王建,孙鹏,刘威,等.不同硒源对泌乳中期荷斯坦奶牛生产性能、抗氧化性能及营养物质表观消化率的影响[J].动物营养学报,2017,29(4):1175–1182.

[13] HEARD J W,STOCKDALE C R,WALKER G P,et al.Increasing selenium concentration in milk:effects of amount of selenium from yeast and cereal grain supplements[J].Journal of Dairy Science,2007,90(9):4117–4127.

[14] BOLDIZAROVA K,GRESAKOVA E,FAIX S,et al.Antioxidant status of lambs fed on diets supplemented with selenite or Se-yeast[J].Journal of Animal Feed Science,2005,14(2):245–253.

[15] ORTMAN K,PEHRSON B.Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast[J].Journal of Animal Science,1999,77(12):3365–3370.

[16] JUNIPER D T,PHIPPS R H,GIVENS D I,et al.Tolerance of ruminant animals to high dose in-feed administration of a selenium-enriched yeast[J].Journal of Animal Science,2008,86(1):197–204.

[17] ALHIDARY I A,SHINI S,AL JASSIM R A,et al.Effects of selenium and vitamin E on performance,physiological response,and selenium balance in heat-stressed sheep[J].Journal of Animal Science,2015,93(2):576–588.

[18] 林金玉,林长光,詹桂兰,等.不同硒源对泌乳期母猪生产性能、甲状腺激素水平和免疫功能的影响[J].华南农业大学学报,2015(1):1–8.

[19] 郭峰,李同树,苗朝华,等.日粮硒源及添加水平对肉鸡生产性能、肉质和甲状腺激素的影响[J].动物营养学报,2004,16(3):63–64.

[20] VILLAR D,ARTHUR J R,GONZALEZ J M,et al.Selenium status in cattle:interpretation of laboratory results[J].Bovine Practitioner,2002,36(1):73–80.

[21] CALAMARI L,PETRERA F,BERTIN G.Effects of either sodium selenite or Se yeast (Sc CNCM Ⅰ-3060) supplementation on selenium status and milk characteristics in dairy cows[J].Livestock Science,2010,128(1/2/3):154–165.

[22] FRASER A J,RYAN T J,SPROULE R,et al.The effect of selenium supplementation on milk production in dairy cattle[J].Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production,1987,47(1):61–64.

[23] PEHRSON B.Selenium in nutrition with special reference to the biopotency of organic and inorganic selenium compounds[C]//Proceedings the 9th Alltech symposium,biotechnology in the feed industry.[S.l.]:[s.n.],1993.

[24] SCHRAUZER G N.Selenomethionine:a review of its nutritional significance,metabolism and toxicity[J].The Journal of Nutrition,2000,130(7):1653–1656.

[25] WEISS W P,HOGAN J S.Effect of selenium source on selenium status,neutrophil function,and response to intramammary endotoxin challenge of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2005,88(12):4366–4374.

[26] ROWNTREE J E,HILL G M,HAWKINS D R,et al.Effect of Se on selenoprotein activity and thyroid hormone metabolism in beef and dairy cows and calves[J].Journal of Animal Science,2004,82(10):2995–3005.

[27] 朱松波,庞坤,陈权军,等.纳米硒对奶牛抗氧化能力的影响[J].家畜生态学报,2015,36(12):56–59.

[28] GIVENS D I,ALLISON R,COTTRILL B,et al.Enhancing the selenium content of bovine milk through alteration of the form and concentration of selenium in the diet of the dairy cow[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2004,84(8):811–817.

[29] MCMURRAY C H,BLANCHFLOWER W J.The levels of selenium and glutathione peroxidase activity in blood of sheep,cows and pigs[J].Research in Veterinary Science,1976,20(2):229–231.

[30] 曹雪瑾.不同硒源及水平对断奶仔猪生长性能、血液生化指标和抗氧化指标的影响[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2011.

[31] 田金可.不同硒源饲料及添加水平对肉仔鸡抗氧化功能及肉品质的影响[D].硕士学位论文.南

京:南京农业大学,2011.

[32] 许宗运,张丽娟,韩俊文.不同水平酵母硒对奶牛血液抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2007,19(6):753–757.

[33] 辛杭书,雒国斌,赵洪波,等.日粮中添加不同水平的酵母硒对围产后期奶牛抗氧化能力和免疫机能的影响[J].中国农业大学学报,2011,16(4):95–101.

[34] 黄志坚, 林藩平, 邱承亮, 吴移山.富硒酵母对奶牛抗氧化能力和免疫功能的影响[J].营养学报,2004,26(1):27–30.

[35] CALAMARI L,PETRERA F,ABENI F,et al.Metabolic and hematological profiles in heat stressed lactating dairy cows fed diets supplemented with different selenium sources and doses[J].Livestock Science,2011,142(1/2/3):128–137.

[36] GONG J,NI L L,WANG D F,et al.Effect of dietary organic selenium on milk selenium concentration and antioxidant and immune status in midlactation dairy cows[J].Livestock Science,2014,170:84–90.

Effects of Different Selenium Sources on Selenium Content in Plasma and Milk, and Serum Antioxidant Capacity of Lactating Dairy Cows under Short-Term Trial Conditions

SUN Lingling[1] WANG Kun[1] GAO Shengtao[1] LIU Shijie[2] BU Dengpan[1,3,4*]

(1. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 2. *China Feed Industry Association, Beijing* 100125, *China*; 3. *Chinese Academy of Agricultural Sciences and World Agroforestry Center Joint Laboratory on Agroforestry and Sustainable Animal Husbandry, Beijing* 100193, *China*; 4. *Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, Changsha* 410128, *China*)

Abstract: The objective of this trial was to compare the effects of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid (HMSeBA) and sodium selenite (SS) on selenium content in plasma and milk, and serum antioxidant capacity of lactating dairy cows under short-term trail conditions. Eight Holstein dairy cows, similarly in parity, days in milk and milk yield, were randomly assigned to 1 of 2 groups with 4 cows per group according to a completely randomized design, and 0.3 mg/kg DM HMSeBA and SS were supplemented in diets in different groups,

respectively. The pre-trial lasted for 2 weeks and the trial lasted 4 weeks. The results showed as follows: 1) milk fat percentage（P=0.060 3）and milk fat yield（P=0.0552）of dairy cows in HMSeBA group tended to be higher than those in SS group, and dry matter intake, milk yield and other milk compositions were not significantly affected by selenium sources (P>0.05); 2) selenium content in plasma and milk of dairy cows in HMSeBA group were significantly higher than those in SS group （P<0.05）; 3) serum glutathione peroxidase activity was not significantly affected by selenium sources (P>0.05), however, serum total antioxidant capacity and superoxide dismutase activity in HMSeBA group were significantly higher than those in SS group （P<0.05）, and serum malondialdehyde content was significantly decreased （P<0.05）. In conclusion, under short-term trail conditions, dietary supplemented with 0.3 mg/kg DM HMSeBA significantly increases selenium content in plasma and milk, and serum antioxidant capacity compared with the supplementation of the same level of SS.

Key words: 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid; sodium selenite; dairy cow; selenium content in milk; serum antioxidant capacity